

**Über die Richtungsabhängigkeit
der mechanischen Eigenschaften der
menschlichen Leichenhaut**

von
Monika Harpf
aus
Ingolstadt



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Institut für gerichtliche Medizin und Kriminalistik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Prof. Dr. Dr. E. Weinig

Über die Richtungsabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften der menschlichen Leichenhaut

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt
von
Monika Harpf
aus
Ingolstadt

Gedruckt mit der Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan:

Prof. Dr. E. Wetterer

Referent:

Prof. Dr. Dr. E. Weinig

Tag der mündlichen Prüfung:

22. Juli 1968

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Literatur	1
II. Meßmethode	5
1. Die Haut als Versuchsmaterial	5
a) Der Aufbau der Haut	
b) Der Aufbau der kollagenen Fasern	
c) Die Richtungsabhängigkeit im Aufbau der Haut	
2. Die Hautmeßstreifen	7
a) Die Form der Hautmeßstreifen	
b) Die Entnahme der Hautmeßstreifen	
c) Die Aufbewahrung der Hautmeßstreifen	
3. Einspannung der Hautmeßstreifen	10
4. Die Meßapparatur	11
a) Der Dehnungsapparat	
b) Die Längenmessung	
c) Die Kraftmessung	
d) Die Registrierung	
5. Die Meßwerte	14
a) Die Zugfestigkeit	
b) Die Elastizitätsgröße	
c) Die Auswertung	
III. Experimenteller Teil	17
1. Das Versuchsmaterial	17
2. Die Entnahmestellen der Hautmeßstreifen	17

3. Die Begründung der Entnahmestellen	18
a) Einseitige funktionelle Beanspruchung	
b) Bevorzugung einer Richtung der kollagenen Fasern	
c) Ausgeprägte Spaltlinien	
4. Meßergebnisse	21
a) Erklärung der Tabellen	
b) Tabelle der gesamten Meßergebnisse	
c) Zusammenfassung der meßergebnisse	
IV. Diskussion	31
V. Zusammenfassung	35
Literaturverzeichnis	

I. Literatur

=====

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den mechanischen Eigenschaften der menschlichen Leichenhaut unter Berücksichtigung der Richtungsabhängigkeit von Festigkeit und Elastizitätsgröße an verschiedenen Stellen des Körpers.

Im Folgenden sollen Untersuchungen der Autoren angeführt werden, die sich mit ähnlicher Problemstellung beschäftigten.

So untersuchte Rollhäuser die Abhängigkeit der Hautfestigkeit vom Lebensalter und fand einen statistisch gesicherten Unterschied der Festigkeitseigenschaften zwischen den einzelnen Altersgruppen; die Zugfestigkeit steigt nach seinen Angaben mit dem Alter von 0,3 bis 1,6 kp/qmm an, die maximale Dehnbarkeit sinkt von 55 auf 35 %. Für die Untersuchungen verwendete Rollhäuser 7 - 8 cm lange Hautstreifen aus dem Gebiet zwischen Sternum und Nabel.

Jansen und Rottier dagegen konnten durch Versuche an 0,5 cm breiten und 10 cm langen Hautstreifen bei großer statistischer Streuung keinen gesicherten Unterschied zwischen den Altersgruppen und den Geschlechtern feststellen. Sie fanden, daß die Dehnbarkeit der Haut mit steigender Belastung abnimmt und in Richtung der Spaltlinien am geringsten ist. Topisch stellten sie fest, daß ein Hautstreifen 8 cm seitlich der Linea alba eine geringere Reißgrenze besitzt als ein solcher direkt neben der

Linea alba (0,9 kp/qmm gegenüber 1,17 kp/qmm), dafür eine größere maximale Dehnbarkeit (135 % gegenüber 116%). Haut oberhalb des Nabels zeigt durchschnittlich eine um 27 % höhere Reißgrenze als solche unterhalb (1,4 kp/qmm gegenüber 1,1 kp/qmm), aber auch eine um 11 % höhere maximale Dehnbarkeit. Nach Angabe der Verfasser bewirkt eine Austrocknung der Meßstreifen wesentliche Veränderungen der mechanischen Eigenschaften.

Jansen und Rottier beschreiben in einer anderen Veröffentlichung einen ähnlichen Versuch, der mit Bauchhautstreifen von 89 Leichen ausgeführt wurde; sie fanden in der Reißfestigkeit keinen Unterschied zwischen den Geschlechtern, stellten andererseits aber fest, daß die Haut im Alter weniger dehnbar ist. Sie legten die bei Jugendlichen gefundenen Dehnbarkeitswerte als 100 % fest und fanden dementsprechend bei alten Individuen nur Werte von 50 - 70 %. Dieses führen sie auf hormonelle Einflüsse zurück. Weiter untersuchten sie die Bauchhaut von Frauen mit ausgeprägten Striae unter Berücksichtigung des Lebensalters und konnten keinen Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften feststellen. Die stärksten Veränderungen traten nach ihren Versuchen während des Jugendalters auf, was wiederum einen Hinweis gibt auf die Beziehungen zwischen Hormonhaushalt und mechanischen Eigenschaften der Haut.

Wenzel führte Untersuchungen über die Dehnbarkeit und Zerreißbarkeit der isolierten Leichenhaut durch, wobei

er insbesondere über die Striae cutis distensae berichtet. Seine Untersuchungen wurden an fixiertem Material vorgenommen. Er stellt unter anderem fest, daß in Richtung des Hauptfaserverlaufs die Festigkeit und der Elastizitätsmodul deutlich größer ist, die Dehnbarkeit aber kleiner ist, als senkrecht dazu.

Er stellt weiter fest, daß die Festigkeit und der Elastizitätsmodul in der Hauptfaserrichtung der Bauchhaut und des Rückens größer ist als die der Extremitäten, wobei die Bauchhaut etwas dehnbarer als die übrigen Abschnitte zu sein schien. An vergleichenden Untersuchungen an 30 Leichen stellte er Abhängigkeiten der Materialkonstanten von Alter und Geschlecht fest.

Ma und Cowdry fanden, daß die elastische Gewebskomponente der Haut im Alter erheblich abnimmt. Sie verglichen die bioptischen Befunde der Ellenbogenhaut männlicher Jugendlicher und Greise.

Von Dal Borgo wurde mittels eines Pendeldynamometers und anderer nicht näher beschriebener Apparaturen in 68 Fällen die Elastizität und Reißfestigkeit der menschlichen Haut von Individuen verschiedener Altersklassen gemessen. Der gefundene Elastizitätsmodul variierte zwischen $0,5 - 4,5 \text{ kg/mm}^2$, wobei die niedrigen Werte vorwiegend bei jüngeren Menschen gefunden wurden. Die Spannungen beim Zerreißen lagen zwischen $0,77$ und $7,14 \text{ kg/mm}^2$. Im Alter nimmt die Reißfestigkeit zu, was die Autoren auf eine Vermehrung der kollagenen Fasern zurückführen.

Friedrich und Mörike sahen beim Vergleich verschiedener Altersstufen an Hautstücken der gleichen Region, daß die jugendliche Haut der Belastung anfangs einen größeren Widerstand entgegensetzt und sich also bei geringer Belastung weniger dehnt als die älterer Personen, daß aber bei hoher Belastung etwa die gleiche Dehnbarkeit erreicht wird.

Diese Versuche entsprechen denen von Rollhäuser, der ebenfalls mit vorrückendem Alter ein Anwachsen der Zugfestigkeit bei gleichzeitiger Verminderung der Dehnbarkeit feststellte.

Ebenso findet Beisenherz eine bessere Verschiebbarkeit und Dehnbarkeit der Haut alter Menschen bei geringer Belastung.

Da nach unserem Wissen noch keine ausführlichen und systematischen Berichte über die Richtungsabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften der Leichenhaut vorliegen, wurden Versuche ausgeführt, die geeignet erschienen solche Richtungsabhängigkeiten experimentell nachzuweisen. Diese Versuche erschienen um so aussichtsreicher als eine Richtungsabhängigkeit sowohl auf Grund der Spaltlinien (Langer, Thielmann) zu erwarten war, als auch das histologische Bild (Huk, Schmidt) solche geradezu erforderten. In umfangreichen Untersuchungen über die histologische Struktur des Coriums wurden von ihnen an verschiedenen Stellen des Körpers ausgeprägte Vorzugsrichtungen der kollagenen Fasern festgestellt.

II. Die Meßmethode =====

1. Die Haut als Versuchsmaterial

a) Der Aufbau der Haut.

Die Haut ist aus mehreren Schichten aufgebaut und zwar von innen nach außen: Subcutis, Corium und Epidermis. Die lockere Subcutis und die dünne Epidermis beeinflussen nur wenig die mechanischen Eigenschaften der gesamten Haut, die hauptsächlich durch das Corium bestimmt werden. Dieses besteht aus Kollagen, Elastin, interstitieller Gewebsflüssigkeit und zu einem kleinen Anteil aus Gefäßen, Nerven, Muskeln, Haaren und Drüsengängen (Pernkopf, Küntzel). Die interstitielle Gewebsflüssigkeit, sowie die Gefäße, Nerven, Muskeln, Haare und Drüsengänge beeinflussen die Festigkeit der Haut nicht wesentlich. Für die mechanischen Eigenschaften der Haut sind das Kollagen und Elastin verantwortlich, die beide in Form von Fasern vorliegen (Keller, Küntzel). Dabei besitzt das Elastin keine entscheidende Bedeutung, da es im Fasergeflecht mengenmäßig nur einen sehr kleinen Anteil darstellt. Seine Festigkeit ist außerdem wesentlich geringer als die des Kollagens (Petry).

Da nach Lever 98% der Festsubstanzen der Cutis aus Kollagen besteht, kann diese als der Träger der mechanischen Eigenschaften der menschlichen Haut angesprochen werden.

b) Der Aufbau der kollagenen Fasern.

Die kollagene Substanz besteht nach Keller aus $0,6 \mu$ dicken, glatten, unverzweigten Fäden, den sogenannten

Fibrillen. Diese Fibrillen werden durch Interzellularsubstanzen zu kollagenen Fasern verklebt (Rollhäuser, Küntzel, Veazar), die im mikroskopischen Bild als Faserbündel zu sehen sind. Sie stellen die funktionelle Einheit dar, die für die mechanischen Eigenschaften entscheidend sind. In der ungedehnten Haut sind sie gewellt, in der gedehnten Haut werden sie entwellt und richten sich mehr oder minder parallel zur Zugrichtung aus (Küntzel). Die Kollagenfibrille, die der Baustein der Kollagenfaser ist, stellt eine Ansammlung von Polypeptidketten mit Querverbindungen dar (Rollhäuser, Veazar), die weitgehend parallel gerichtet sind. Zwischen diesen Ketten ist noch Wasser und ungeordnetes Material eingelagert (Rollhäuser).

c) Richtungsabhängigkeit im Aufbau der Haut.

Die Untersuchungen hatten zum Ziel eine Richtungsabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften der Haut experimentell zu untersuchen. Eine solche Vorzugsrichtung müßte in irgendeiner Weise in der Textur des kollagenen Netzwerkes zu erkennen sein. Tatsächlich ist eine topographische Richtungsabhängigkeit schon seit längerer Zeit bekannt; so beschrieb Langer die "Spaltlinien" der Haut. Er konnte nachweisen, daß Stichwunden, die mit einem konisch zugespitzten runden Instrument erzeugt wurden, immer Schlitze darstellen, deren Längsachse an den einzelnen Stellen des Körpers eine bestimmte Richtung haben, und die einen etwa im rechten Winkel dazu stehenden kleinen Einriß an dem einen Ende zeigen.

Diese Versuche wurden später mit ähnlichen Methoden durch Bennighoff-Görtl und Cox bestätigt.

Die durch die Längsrichtung dieser Schlitze festgelegten Richtungen werden Spaltbarkeitsrichtungen der Haut, die ihnen zugeordneten Linienscharen Spaltlinien genannt. Damit ist eine Vorzugsrichtung an verschiedenen Stellen des Körpers festgelegt, die bedeutet, daß der Zusammenhalt der Haut in der Richtung der Spaltlinien größer als senkrecht dazu ist, wodurch diese längsverlaufenden Schlitze entstehen. Diese Tatsache ist durch die Anordnung des kollagenen Fasernetzes im Corium zu erklären, denn die kollagenen Fasern bestimmen die Festigkeit der Haut. Dementsprechend konnten im histologischen Bild Schridt und Huk Vorzugsrichtungen im Verlauf der kollagenen Fasern feststellen, die den Spaltlinien parallel laufen.

2. Die Hautmeßstreifen

a) Die Form der Hautmeßstreifen.

Zur experimentellen Untersuchung der mechanischen Houteigenschaften ist es notwendig, Hautstücke aus menschlichen Leichen zu entnehmen. Diese "Hautmeßstreifen" sollen alle gleich groß sein und die gleiche Form haben, um die einzelnen Meßergebnisse vergleichen zu können.

Auf Grund vorhergehender Versuche wurden Meßstreifen mit der in Abb. 1 dargestellten Form benutzt. Die Meßstrecke war 5 cm lang und 1 cm breit; auf beiden Seiten befand sich ein breiterer Streifen zur Einspannung (vergleiche Abb. 1). Dadurch wurde die unvermeidliche

Kerbwirkung, die an den Halteklammern auftritt, als Fehlerquelle ausgeschaltet (Zink), denn durch diese Verbreiterung im Einspannbereich reißt die Haut bei Belastung innerhalb des 5 cm langen, zur Messung verwendeten, 1 cm breiten Streifens ab und nicht an den Stellen, an denen die Haut eingespannt wird, wie es bei über die ganze Länge gleichbreiten Hautstreifen der Fall ist.

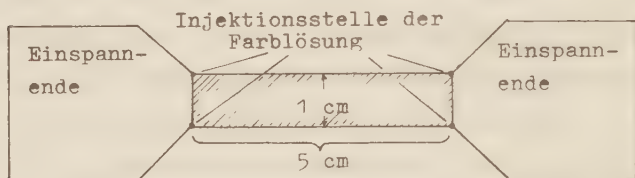


Abb. 1: Form und Abmessung der Hautmeßstreifen (natürliche Größe). Der zur Auswertung verwendete Hautbezirk 10 mal 50 mm ist schraffiert.

b) Die Entnahme der Hautmeßstreifen.

Um Hautstücke dieser Form exakt aus der Leiche entnehmen zu können, wurde eine Plastischablone der in Abb. 1 dargestellten Form angefertigt. Sie wurde mit Stempelfarbe befeuchtet und an der gewünschten Entnahmestelle auf die Leiche gedrückt. Auf diese Weise war die Hautpartie, die für den Versuch verwendet werden sollte, angefärbt und es konnte sehr genau die Größe der Meßstreifen eingehalten werden.

Für die Untersuchung ist es wichtig, den 5 cm langen Meßstreifen (vergl. Abb. 1) auch nach der Entnahme noch genau von den seitlichen Einspann-Enden abgrenzen zu können. Deshalb wurde an beiden Enden der Meßstreifen vor der Entnahme grüne Tinte in die Haut injiziert (vergl. Abb. 1), wodurch diese Punkte während der ganzen Messung kenntlich waren. Dieses Verfahren erwies sich gegenüber dem Markieren mit Fettstift überlegen, da der Fettstift während der Versuche häufig verwischt wurde.

Die Hautstücke wurden längs der Farbrenze herauspräpariert, wobei besonders darauf geachtet wurde, daß das Corium an der Unterseite nicht verletzt wurde, weil derartige Verletzungen zu einer wesentlichen Verminderung der Festigkeit führten. Darum ist es günstig bei der Präparation etwas Unterhautfettgewebe stehen zu lassen, weil dadurch das Corium sicher nicht verletzt wird.

c) Die Aufbewahrung der Hautmeßstreifen.

Gleich nach der Entnahme wurde die Haut mit feuchtem Filterpapier bedeckt und dadurch eine Austrocknung vermieden, die, wie in früheren Versuchen festgestellt wurde (Zink), wesentliche Veränderungen der mechanischen Eigenschaften der Haut bewirkte.

Die mechanischen Eigenschaften der Haut ändern sich innerhalb der ersten 10 Tage nach dem Tode nicht (Zink). Dabei ist es gleichgültig, ob die Hautstücke sofort

nach dem Tode oder erst einige Tage nachher entnommen werden.

Die Entnahme und Untersuchung wurde bei den hier beschriebenen Versuchen innerhalb der ersten drei Tage nach dem Tode vorgenommen.

3. Die Einspannung der Hautmeßstreifen.

Als Einspannvorrichtungen wurden zwei feilklobenähnliche Halterungen verwendet: An einem starken Scharniergelenk sind zwei Scharnierblätter befestigt, die als greifende Flächen besonders geformte Backen der Größe 2,5 cm mal 4 cm tragen. Die Scharnierblätter werden durch zwei Schrauben zusammengepreßt, die seitlich neben den Backen angebracht sind. Damit die Haut innerhalb der Backen den Zug gleichmäßig auf die Einspannvorrichtung überträgt und Kerbwirkungen am Beginn der Einspannung vermieden werden, ist das Profil der Backen mit einer quer zur Zugrichtung verlaufenden Zahnreihe und mehreren parallel dazu verlaufenden Rillen versehen. Der Hautstreifen wird durch eine kräftige Zahnreihe unbeweglich festgehalten. Außerdem werden an dem freien Ende der Backen, wo das eingeklemmte Hautstück in den Teil übergeht, an dem die Messungen vorgenommen werden, durch das glatte Profil der Backen keine Verletzungen und nur geringe Quetschungen an dem Hautstück hervorgerufen.

4. Die Meßapparatur

a) Der Dehnungsapparat.

Ein waagrechtcr Zweispindelbetrieb ist in einer Rahmenkonstruktion gelagert. Die beiden Spindeln, die einen gemeinsamen Läufer tragen, sind durch Zahnräder miteinander verbunden und mit einem Getriebe gekoppelt. Der Getriebeantrieb ist durch ein Keilriemengelege wahlweise mit einem darunterliegenden Drehstrommotor (0,7 kW/880 Upm) oder einem langsam laufenden Gleichstrommotor verbunden. Es sind so Dehnungsgeschwindigkeiten von 1 mm/h bis 45 mm/sec möglich.

b) Die Längenmessung.

Für die Längenmessung sind die beiden Halterungen wegen des unvermeidlichen Hautschlupfes innerhalb der Einspannungen nicht ohne Weiteres zu verwenden. Deshalb wurden die Grenzen der Meßstreifen durch Injizieren von grüner Tinte kenntlich gemacht, wie bereits beschrieben worden ist und eine Änderung des Abstandes dieser beiden Grenzen gemessen. Es wurden an den markierten Punkten der Hautstreifen Klammern angebracht, die durch Gelenke mit einem induktiven Wegaufnehmer (GLC-Verlagerungsaufnehmer Typ 1009SS) verbunden wurden. Die Klammern können sich in der Ebene senkrecht zur Zugrichtung frei bewegen, in der Zugrichtung selbst übertragen sie jede Bewegung auf den Wegaufnehmer, der parallel zur Zugrichtung liegt. Er arbeitet induktiv und erzeugt eine Spannung von 1 V/cm Längenänderung.

Um diese Haftreibung innerhalb dieses Gelenkmechanismus auszuschalten, wurde auf den Wegaufnehmer ein Motor mit einer kleinen Unwucht befestigt, der während der Versuche lief und durch leichte mechanische Schwingungen die Reibung verminderte. Trotzdem war es nicht zu vermeiden, daß der Übertragungsmechanismus klemmte, was zu unregelmäßigen Spannungs-Dehnungs-Kurven führte.

Wurde die Änderung des Abstands zwischen den beiden Einspannungen der Haut gemessen, so erzielte man gleichmäßige Spannungs-Dehnungs-Kurven, die besser verwertbar waren. Durch vergleichende Meßreihen zwischen diesen beiden Verfahren, nämlich einerseits der Verwendung der mit grüner Tusche markierten Stellen als Meßpunkte und andererseits der Einspannungen, stellte sich heraus, daß der Hautschlupf innerhalb der Einspannungen, der bei letzterem Verfahren die Meßwerte beeinflusste, eine scheinbare Erhöhung der Elastizitätsgröße um einen mittleren Faktor 1,8 bewirkte. Für vergleichende Messungen, wie sie hier durchgeführt wurden, konnten somit die Einspannungen als Meßpunkte verwendet werden, wodurch die so erhaltenen exakteren Spannungs-Dehnungs-Kurven zur Auswertung zur Verfügung standen. Die Zugfestigkeitswerte sind bei beiden Verfahren gleich.

c) Die Kraftmessung.

Zur Kraftmessung wurden Dehnungsmeßstreifen verwendet. Als Trägermaterial für diese dient Bandstahl. Auf zwei

gleiche Bandstahlstreifen werden auf jede Seite je ein Dehnungsmeßstreifen aufgeklebt, also insgesamt vier Stück. Einer der beiden Stahlstreifen wird durch die zu messenden Kräfte belastet. Der andere dient zur Kompensation temperaturbedingter Längenänderung des Bandstahls, denn bei nicht kompensierten Dehnungsmeßstreifen würde eine Temperaturänderung eine Spannung des Trägermaterials vortäuschen. Die vier Dehnungsmeßstreifen sind in Wheatstone'scher Brückenschaltung verbunden. Bei einer Brückenspannung von 8 V, wie sie zu den Messungen verwendet wurde, erhält man in der Diagonalen der Wheatstone'schen Brücke 0,118 mV/kp Zug.

d) Die Registrierung.

Die Registrierung der aus der Längenänderung und der Belastung erhaltenen elektrischen Signale erfolgte mit einem XY-Schreiber (Moseley 2D Autograph). Die Empfindlichkeit des Schreibers war so eingestellt, daß einer Hautverlängerung von 1 cm eine Strecke von 5 cm in X-Achse auf dem Kraft-Dehnungs-Diagramm entsprach. Für die Y-Achse entsprach eine Belastung von 100 kp ein Schreiberausschlag von 23,1 cm.

Mit dieser Versuchsanordnung wurden Kurven erhalten, aus denen man die Zugfestigkeit und die Elastizitätsgröße entnehmen kann.

5. Die Meßwerte.

a) Die Zugfestigkeit.

Die physikalische Definition der Spannung ist Kraft pro Fläche, die senkrecht zur einwirkenden Kraft steht. Diese Definition ist nur sinnvoll, wenn man diese Fläche bestimmen kann und wenn ein Material bezüglich der angreifenden Kraft homogen erscheint.

Der Querschnitt eines Hautstreifens kann nicht genau bestimmt werden, da die Haut nicht klar gegen die Subcutis abgrenzbar ist und ihre Dicke stark von dem Gehalt an interstitieller Flüssigkeit abhängt. Weil ferner die Haut wegen ihres schichtartigen Aufbaus nicht homogen ist, erscheint der Querschnitt auch deshalb nicht sinnvoll. Der Gehalt an interstitieller Flüssigkeit hängt z.B. von konstitutionellen Faktoren (pastöser Habitus), den Ursachen des Todes (Ödem), den Bedingungen, denen die Leiche ausgesetzt war (trockne oder nasse Umgebung, heiß oder kalt, Liegezeit), von den Bedingungen nach der Excision usw. ab, also von vielen äußeren unkontrollierbaren Umständen. Das alles macht den Begriff der Hautquerschnittsfläche fragwürdig.

Deshalb wird hier die Spannung (σ^x) als Kraft pro Hautbreite definiert:

$$\sigma^x = \frac{\text{Kraft}}{\text{Hautbreite}} \left[\frac{\text{kp}}{\text{cm}} \right]$$

Die Zugfestigkeit $\sigma^x_{\max}$ ist entsprechend

$$\sigma^x_{\max} = \frac{\text{Kraft, die gerade zum Zerreißen führt}}{\text{Hautbreite}} \left[\frac{\text{kp}}{\text{cm}} \right]$$

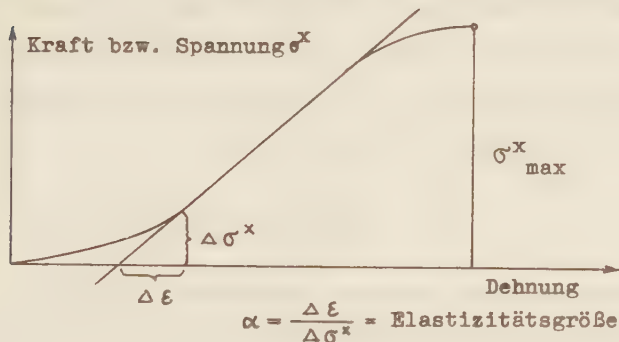


Abb. 2: Charakteristische Spannungs-Dehnungs-Kurve der menschlichen Haut.

b) Die Elastizitätsgröße.

Im Hooke'schen Gesetz in der Form $\varepsilon = \alpha \cdot \sigma^x$ ist ε die dimensionslose relative Längenänderung, σ^x die eben definierte Spannung (kp/cm) und α ein Proportionalitätsfaktor mit der Dimension cm/kp, der Elastizitätsgröße oder Dehnungsgröße genannt wird.

Die Haut gehorcht nicht dem strengen Hooke'schen Gesetz, sondern die Spannungs-Dehnungs-Kurve hat etwa die in Abb. 2 angegebene Gestalt. Experimentell hat sich gezeigt, daß in sehr vielen Fällen die Kurve im Bereich

des steilsten Anstiegs über eine längere Strecke linear verläuft und hier mit der steilsten Kurventangente (Wendetangente) zusammenfällt. Dieser "Hooke'sche" Bereich wird zur Charakterisierung der Dehnungseigenschaften der menschlichen Haut verwendet, und als deren Maß die Elastizitätsgröße (α) als das reziproke Steigungsmaß der steilsten Tangente definiert:

$$\alpha = \frac{\Delta \epsilon}{\Delta \sigma^x}$$

Dabei wird der Elastizitätsgröße der Vorzug gegenüber dem (ihr reziproken) Elastizitätsmodul gegeben, weil ersterer eine anschaulichere Bedeutung zukommt:

Materialien, die sich leicht dehnen lassen, die also im täglichen Sprachgebrauch als elastisch bezeichnet werden, besitzen eine hohe Elastizitätsgröße. "Unelastische" Stoffe besitzen eine niedrige Elastizitätsgröße.

c) Die Auswertung.

Aus den experimentell erhaltenen Spannungs-Dehnungs-Diagrammen wurden Zugfestigkeit und Elastizitätsgröße errechnet. Die zum Zerreißen notwendige Kraft (k_p) ergab sich aus der Ordinate des Kraft-Dehnungs-Diagrammes, indem die Größe dieser Ordinate in cm durch 23,1 dividiert wurde. Die Größe der Zugfestigkeit (k_p/cm) ist gleich dieser Zahl, da immer mit Hautmeßstreifen von 1cm gearbeitet wurde. Die Elastizitätsgröße (cm/k_p) ergibt sich

aus der reziproken Steigung des steilsten Kurvenanstiegs, indem man diese mit dem Faktor 0,00924 multipliziert.

Dieser Faktor ergibt sich aus der Eichkonstanten der Kraft- und Längenmessung.

III. Experimenteller Teil.

=====

1. Das Versuchsmaterial.

Für die Versuche wurde Haut der Leichen von einer Frau (55 Jahre) und 11 männlichen Personen (18 bis 65 Jahre) verwendet.

Bei der Auswertung der experimentell erhaltenen Spannungs-Dehnungs-Diagramme wurde Alter und Geschlechtsabhängigkeit nicht berücksichtigt; da es sich hier um vergleichende Messungen handelte, fallen systematische Änderungen der Hauteigenschaften, wie sie durch Alter und Geschlecht auftreten können, nicht ins Gewicht.

Es wurden je zwei korrelierende Hautstreifen von ein und derselben Leiche miteinander verglichen und deren verhältnis als Meßgröße verwendet. Dieses Verfahren ist zulässig, da in früheren Versuchen (Weinig und Zink) festgestellt worden war, daß bei gleicher Entnahmerichtung die mechanischen Eigenschaften der rechten und linken Körperhälfte im Mittel gleich sind.

2. Die Entnahmestellen der Hautmeßstreifen.

Die zu den Versuchen verwendeten Hautstreifen wurden entsprechend Abb. 3 an folgenden Stellen entnommen:

Oberarm	Leiste
Ellenbeuge	Gesäß/Oberschenkel
Unterarm	Glutäus
Achsel	Brust
Oberschenkel außen	Bauch
Oberschenkel innen	Becken seitlich
Kniekehle	Schulter
Unterschenkel	Rückenmitte

3. Die Begründung der Entnahmestellen.

Obenstehende Entnahmestellen wurden ausgewählt, weil an diesen Regionen (mit Ausnahme von Brust und Schulter, sie wurden als indifferente Vergleichsstellen verwendet) Unterschiede der mechanischen Eigenschaften der Haut auf Grund folgender drei Kriterien zu erwarten waren:

a) Einseitige funktionelle Beanspruchung:

Einseitige funktionelle Beanspruchung findet man vor allem an den Gelenken, da hier die Haut physiologischerweise vorwiegend in bestimmter Richtung gedehnt wird und deshalb eine entsprechende Anordnung des kollagenen Fasernetzes zu erwarten ist.

b) Bevorzugung einer Richtung in der Anordnung der kollagenen Fasern.

Huk und Schmidt haben in umfangreichen Untersuchungen insbesondere an Bauch, Leistenbeuge, Kniekehle und Achsel

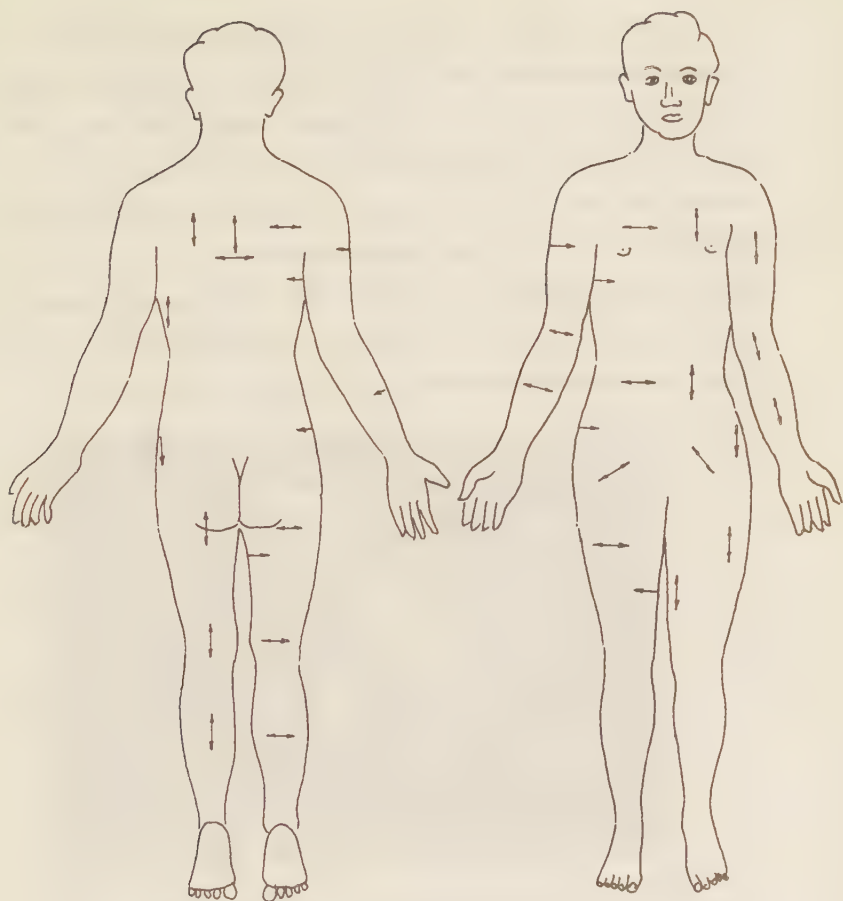


Abb. 3 : Entnahmestellen der Hautmeßstreifen.

Die Striche kennzeichnen die Entnahmestellen und die Entnahmerichtung; die Entnahmerichtung auf der linken Seite des Körpers bzw. auf der rechten steht aufeinander senkrecht. Die Form der entnommenen Hautstreifen ist in Abb.1 dargestellt.

eine sehr stark bevorzugte Faserrichtung der kollagenen Fasern festgestellt. In diesen Bereichen verlaufen fast alle Fasern parallel, nur ein kleiner Rest davon weicht in Winkeln bis 90 Grad ab. Wir haben zur Kontrolle der genauen Entnahmestellen nochmals von verschiedenen Haut-
gegenden, die uns besonders aussichtsreich erschienen (Leiste, Rückenmitte, Ellenbeuge und Kniekehle) Coriumflachschnitte angefertigt. Es fanden sich tatsächlich ausgeprägte Vorzugsrichtungen (Vergleiche Abb. 4).

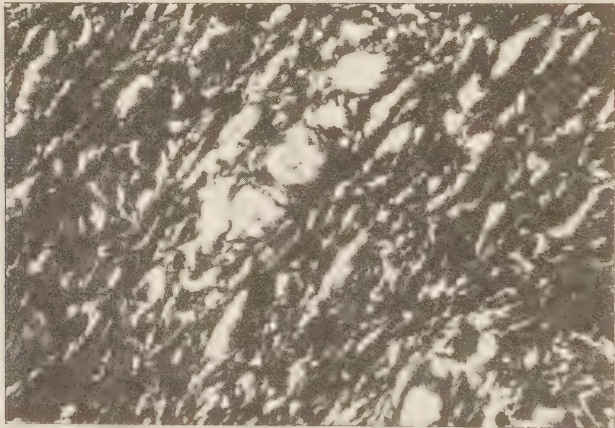


Abb. 4: Coriumflachschnitt aus der Kniekehle. Dicke etwa 30μ . Fixiert mit 10% Formalin, gefärbt nach v.Gieson. (Vergrößerung 180 fach). Es ist eine deutliche Vorzugsrichtung der kollagenen Fasern zu sehen.

c) Ausgeprägte Spaltlinien.

Schon seit 1861 sind die "Spaltlinien" der Haut bekannt. Sie sind der Ausdruck einer Vorzugsrichtung und waren für uns ein Merkmal besonders günstige Hautstellen für unsere Versuche auszuwählen.

Die Spaltlinien der Haut wurden festgestellt, indem mit einer Nadel, die ungefähr 3 mm Durchmesser hatte und spitz zugeschliffen war, tief in die Haut gestochen wurde. Dabei ergaben sich Löcher, die meist nicht die runde Form der Nadel hatten, sondern oval oder schlitzförmig waren. Dies ist durch die vorwiegende Anordnung der kollagenen Fasern in einer Richtung bedingt, wie durch histologische Schnitte festgestellt werden konnte. An Stellen, die besonders ausgeprägte Spaltlinien hatten, sind die kollagenen Fasern vorwiegend in Richtung dieser Spaltlinien angeordnet. Zum Beispiel waren an der Hautpartie, aus der der histologische Schnitt von Abb. 4 stammte, starke Spaltlinien festzustellen.

4. Meßergebnisse.

Im Folgenden werden die auf Grund von Kraft-Dehnungsmessungen der Haut gefundenen Resultate in tabellarischer Form dargestellt. Zu diesem Zweck wurden aus den Diagrammen in der bereits beschriebenen Weise die Zugfestigkeit und die Elastizitätsgröße der untersuchten Hautstücke errechnet. In den Tabellen werden jeweils das Verhältnis der Zugfestigkeit und das Verhältnis der Elastizitätsgröße

von zwei korrelierenden Meßstreifen (rechte und linke Körperseite) angegeben, wobei der eine Meßstreifen parallel zur Körperachse liegt, was meist mit der Spaltrichtung zusammenfällt und der andere senkrecht zu dieser Richtung. Lediglich an der Leistenbeuge wurde der eine Meßstreifen parallel zum Verlauf des Ligamentum inguinale, der andere senkrecht dazu entnommen. Die Spaltrichtung verläuft hier parallel zum Ligamentum inguinale.

a) Erklärung der Tabellen.

An einem Beispiel soll die Ablesung der Tabelle erklärt werden:

Oberarm 1 : 1,96

1,9 : 1

Hier bedeutet 1 : 1,96 das Verhältnis der Zugfestigkeit der Haut am Oberarm, und zwar entspricht 1 der Zugfestigkeit parallel zur Körperachse und 1,96 der Zugfestigkeit senkrecht zur Körperachse; es ist also die Oberarmhaut senkrecht zur Körperachse 1,96 mal fester als parallel zu ihr.

1,9 : 1 stellt das Verhältnis der Elastizitätsgröße am Oberarm dar, wobei 1,9 der Elastizitätsgröße eines Hautstreifens parallel zur Körperachse entspricht und 1 dem entsprechenden senkrechten Hautstück. Die Elastizitätsgröße ist also parallel zur Körperachse 1,9 mal größer als in der darauf senkrecht stehenden Richtung.

b) Tabelle der gesamten Meßergebnisse.

Entnahmestellen					
Leiche		Oberarm	Ellenbeuge	Unterarm	Achsel
1	Z	1 :1,96	1 :2,74	1 :2,03	1 :0,63
	E	1,9 :1	1,96:1		0,63:1
2	Z		1 :2	1 :2	1 :1,24
	E			2 :1	0,61:1
3	Z	1 :0,93	1 :5,4	1 :1,13	1 :3
	E	0,97:1		0,84:1	1,24:1
4	Z		1 :1,4	1 :0,86	1 :1,13
	E		1,2 :1	0,84:1	1,24:1
5	Z	1 :1,36	1 :1,3	1 :2,11	1 :0,88
	E	1,26:1	9 :1	1,26:1	0,83:1
6	Z	1 :1,31	1 :1	1 :0,91	1 :1,2
	E	1 :1	1,2 :1	1,33:1	0,15:1

Das in der Tabelle an erster Stelle stehende Zahlenpaar gibt das Verhältnis der Zugfestigkeit an, das zweite Zahlenpaar das Verhältnis der Elastizitätsgröße. Bei jedem Verhältnis entspricht die erste Zahl dem parallel zur Körperachse verlaufenden Hautstreifen, die zweite Zahl dem senkrecht zur Körperachse verlaufenden Hautstreifen (Siehe Seite 22).

Z = Zugfestigkeit, E = Elastizitätsgröße

Entnahmestellen					
Leiche		Oberarm	Ellenbeuge	Unterarm	Achsel
7	Z	1 :1	1 :3	1 :0,7	1 :3,17
	E	1 :1	0,17:1	1,04:1	2,5 :1
8	Z	1 :1,03	1 :1,47	1 :0,8	1 :1,61
	E	1,26:1	1,38:1	2,25:1	1,88:1
9	Z	1 :1,24	1 :2,41	1 :1,29	1 :1,28
	E	1,08:1	1,47:1	2,56:1	1,42:1
10	Z	1 :1,09	1 :1,33	1 :0,98	1 :1,52
	E	1,2 :1	1,09:1	2,35:1	1,18:1
11	Z	1 :0,68	1 :1,41	1 :1,12	1 :1,52
	E	0,71:1	1,5 :1	2,42:1	2,46:1
12	Z	1 :1,13	1 :1,16	1 :1,31	1 :2,29
	E	0,84:1	1,2 :1	2,09:1	2,2 :1

Das in der Tabelle an erster Stelle stehende Zahlenpaar gibt das Verhältnis der Zugfestigkeit an, das zweite Zahlenpaar das Verhältnis der Elastizitätsgröße. Bei jedem Verhältnis entspricht die erste Zahl dem parallel zur Körperachse verlaufenden Hautstreifen, die zweite Zahl dem senkrecht zur Körperachse verlaufenden Hautstreifen (Siehe Seite 22).

Z = Zugfestigkeit, E = Elastizitätsgröße

Entnahmestellen				
Leiche	Oberschenkel rechts	Oberschenkel links	Kniekehle	Unter- schenkel
1 Z	1 :1,57	1 :1,1	1 :3	
E	0,53:1	1,2 :1	2,5 :1	
2 Z	1 :1,4	1 :3,8	1 :7,3	1 :2
E	1,08:1	1,2 :1	6,8 :1	3,4 :1
3 Z	1 :4,7	1 :1,1	1 :4,05	1 :1,9
E	3,2 :1	1,05:1	2,5 :1	2,9 :1
4 Z	1 :1,7		1 :1,9	1 :0,78
E	1,97:1		2,14:1	1,8 :1
5 Z	1 :1,14	1 :1		
E	1,07:1	1,22:1		
6 Z	1 :1,4	1 :1	1 :1,54	1 :1,4
E	1,2 :1	0,72:1	0,47:1	2,3 :1

Das in der Tabelle an erster Stelle stehende Zahlenpaar gibt das Verhältnis der Zugfestigkeit an, das zweite Zahlenpaar das Verhältnis der Elastizitätsgröße. Bei jedem Verhältnis entspricht die erste Zahl dem parallel zur Körperachse verlaufenden Hautstreifen, die zweite Zahl dem senkrecht zur Körperachse verlaufenden Hautstreifen (Siehe Seite 22).

Z = Zugfestigkeit, E = Elastizitätsgröße

Entnahmestellen				
Leiche	Oberschenkel rechts	Oberschenkel links	Kniekehle	Unter- schenkel
7 Z	1 :1,5	1 :2,04	1 :3,72	1 :0,98
E	1,3 :1	1,7 :1	1,6 :1	0,93:1
8 Z		1 :1,15		
E		1,31:1		
9 Z	1 :1,4	1 :1,5	1 :3,02	1 :0,68
E	1,4 :1	1,6 :1	2,04:1	0,77:1
10 Z	1 :1,52	1 :1	1 :3,1	1 :1,47
E	0,95:1	1,05:1	2,96:1	1,44:1
11 Z	1 :1,11	1 :1,8	1 :1,16	1 :1,57
E	1 :1	1,2 :1	1,53:1	2,09:1
12 Z	1 :1,11	1 :1,05	1 :1,92	
E	0,66:1	1,28:1	4,14:1	

Das in der Tabelle an erster Stelle stehende Zahlenpaar gibt das Verhältnis der Zugfestigkeit an, das zweite Zahlenpaar das Verhältnis der Elastizitätsgröße. Bei jedem Verhältnis entspricht die erste Zahl dem parallel zur Körperachse verlaufenden Hautstreifen, die zweite Zahl dem senkrecht zur Körperachse verlaufenden Hautstreifen (Siehe Seite 22).

Z = Zugfestigkeit, E = Elastizitätsgröße

Entnahmestellen					
Leiche	Leiste	Gesäß/ Obersch.	Bauch	Schulter	Rücken
1 Z E			1 :1,15 1,2 :1	1 :0,79 0,53:1	
2 Z E	1 :1,06 2,8 :1		1 :2,03 1,65:1	1 :0,88 1,75:1	
3 Z E		1 :1,62 1,88:1	1 :2,33 2,55:1	1 :0,64 0,67:1	1 :0,22 0,29:1
4 Z E	1 :1 4 :1	1 :0,63 0,8 :1	1 :1,39 2,34:1	1 :0,73 0,67:1	1 :0,61 0,67:1
5 Z E	1 :1 7 :1		1 :0,97 1,9:1	1 :0,43 0,5 :1	
6 Z E	1 :1,3 2 :1	1 :1,65 1 :1	1 :1,1 1 :1	1 :0,36 0,5 :1	1 :0,31 0,7 :1

Das in der Tabelle an erster Stelle stehende Zahlenpaar gibt das Verhältnis der Zugfestigkeit an, das zweite Zahlenpaar das Verhältnis der Elastizitätsgröße. Bei jedem Verhältnis entspricht die erste Zahl dem parallel zur Körperachse verlaufenden Hautstreifen, die zweite Zahl dem senkrecht zur Körperachse verlaufenden Hautstreifen (Siehe Seite 22).

Z = Zugfestigkeit, E = Elastizitätsgröße

Entnahmestellen					
Leiche	Leiste	Gesäß/ Obersch.	Bauch	Schulter	Rücken
7 Z E	1 :6,1	1 :1,6 1,47:1	1 :0,36 0,55:1	1 :0,94 1 :1	1 :0,56 0,41:1
8 Z E	1 :9,4 4,5 :1		1 :1,34 1,15:1		1 :0,83 0,65:1
9 Z E		1 :2,1 3,3 :1	1 :1,69 2,2 :1	1 :0,43 0,4 :1	1 :0,48 0,5 :1
10 Z		1 :4,26	1 :1,42 1,55:1	1 :0,77 0,7 :1	1 :0,43 0,5 :1
11 Z E	1 :13,3 2,15:1	1 :3,4 1,9 :1	1 :1,82 1,83:1	1 :0,71 0,64:1	1 :0,24 0,27:1
12 Z			1 :1,21 1,2 :1	1 :0,45 0,88:1	1 :0,38 0,3 :1

Das in der Tabelle an erster Stelle stehende Zahlenpaar gibt das Verhältnis der Zugfestigkeit an, das zweite Zahlenpaar das Verhältnis der Elastizitätsgröße. Bei jedem Verhältnis entspricht die erste Zahl dem parallel zur Körperachse verlaufenden Hautstreifen, die zweite Zahl dem senkrecht zur Körperachse verlaufenden Hautstreifen (Siehe Seite 22).

Z = Zugfestigkeit, E = Elastizitätsgröße

c) Zusammenfassung der gesamten Meßergebnisse.

Zugfestigkeit und Elastizitätsgröße parallel und senkrecht zur Körperlängsachse			
Oberarm	1	:1,17 1,11:1	Gesäß/Obersch. 1 :2,18 1,73:1
Ellenbeuge	1	:2,06 2,03:1	Bauch 1 :1,41 1,6 :1
Unterarm	1	:1,27 1,73:1	Schulter 1 :0,59 0,65:1 bzw. 1 :1,7 1,55:1
Achsel	1	:1,62 1,28:1	

Die Angabe der Zahlen bedeutet also das mittlere Verhältnis der Zugfestigkeit und Elastizitätsgröße parallel und senkrecht zur Körperlängsachse. Die Entnahmestellen der Hautstücke können aus Abb. 3, Seite 19, entnommen werden.

Zugfestigkeit und Elastizitätsgröße parallel und senkrecht zur Körperlängsachse					
Oberschenkel	1	:1,52	Rückenmitte	1	:0,38
rechts		1,31:1			0,42:1
Oberschenkel	1	:1,5	bzw.	1	:2,66
links		1,31:1			2,38:1
Kniekehle	1	:3,03	Oberschenkel	1	:1,54
		2,67:1	innen		1,11:1
Unterschenkel	1	:0,74	Becken seitlich	1	:1,57
		0,51:1			1,37:1
bzw.	1	:1,35			
		1,95:1			
Leiste	1	:6,53	Glutäus	1	:0,73
		3,78:1			1,1 :1
			bzw.	1	:1,37
					0,91:1
Brust	1	:1,79			
		1,69:1			

Die Angabe der Zahlen bedeutet also das mittlere Verhältnis der Zugfestigkeit und Elastizitätsgröße parallel und senkrecht zur Körperlängsachse. Die Entnahmestellen der Hautstücke können aus Abb. 3, Seite 19, entnommen werden.

IV. Diskussion.

=====

Bei Verletzungen wird oft an den forensisch tätigen Arzt die Frage nach Form und Art des verletzenden Werkzeugs gestellt. Diese Frage kann häufig auf Grund der Wundform, der Abprägung des Werkzeugs auf Knochen oder durch andere äußere Umstände beantwortet werden, jedoch ist andererseits bekannt, daß ein und dasselbe Werkzeug an verschiedenen Stellen des Körpers zu verschiedenartigen Wundformen führen kann. Besonders bei Stichverletzungen und auch bei Verletzungen mit stumpfer Gewalt findet man schlitzförmige Wunden. Hier ist der Rückschluß auf das Werkzeug nicht immer möglich, da die Richtung der Wundschlitze an einzelnen Körperstellen eine Vorzugsrichtung aufweist. Das legt die Vermutung nahe, daß die mechanischen Eigenschaften der Haut an solchen Stellen ebenfalls eine Vorzugsrichtung aufweisen. Tatsächlich traten bei früheren Versuchen an Leichenhautstreifen derartige Richtungsabhängigkeiten der mechanischen Eigenschaften der Haut auf (Weinig und Zink). Nachdem die Hauteigenschaften hauptsächlich durch die kollagenen Fasern bedingt sind und diese im histologischen Bild an verschiedenen Stellen des Körpers eine ausgeprägte Vorzugsrichtung erkennen lassen (Huk, Schmidt), war auch von dieser Seite eine Abhängigkeit der mechanischen Eigenschaften der Haut zu erwarten. Auch die durch Spaltlinien (Langer, Thielmann, Schmidt)

gekennzeichnete Richtungsabhängigkeit deutet daraufhin. Einseitige physiologische Belastung an verschiedenen Körperstellen (Gelenke) machen ebenfalls eine Richtungsabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften der Haut wahrscheinlich.

Zur experimentellen Verifizierung solcher Richtungsabhängigkeiten wurden Versuche an Hautstücken unternommen, an denen eine solche Richtungsabhängigkeit auf Grund experimenteller Befunde (Spaltlinien, histologisches Bild) und physiologisch einseitiger Belastung besonders ausgeprägt zu erwarten war.

Außerdem wurde zum Vergleich Haut von Körperstellen untersucht, die keine Vorzugsrichtung erwarten ließ.

Dazu wurden an beiden Körperhälften von korrelierenden Stellen zueinander senkrecht stehende Hautstreifen entnommen und in einer genau beschriebenen Apparatur bis zum Zerreißen gedehnt. Die Entnahmerichtung des einen Meßstreifens lag jeweils parallel zur Körperlängsachse bzw. in Richtung der Spaltlinien, was bei den untersuchten Hautstellen weitgehend zusammenfiel, die Entnahmerichtung des korrelierenden auf der anderen Körperseite senkrecht dazu.

Aus den registrierten Spannungs-Dehnungs-Diagrammen ergab sich die Zugfestigkeit und die Elastizitätsgröße der untersuchten Haut.

Die einander entsprechenden Werte der aufeinander senkrecht stehenden Hautstreifenpaare wurden in tabellarischer

Form verglichen und dabei an verschiedenen untersuchten Körperstellen mechanische Vorzugsrichtungen gefunden, an anderen Körperstellen eine weitgehend gleichmäßige Verteilung der Festigkeitseigenschaften festgestellt. Dabei zeigte sich, daß die Erhöhung der Zugfestigkeit in einer Richtung mit einer Erniedrigung der Elastizitätsgröße in derselben Richtung einhergeht.

Diese Gesetzmäßigkeit läßt sich aus der richtungsgebundenen Anordnung der kollagenen Fasern erklären, die wir im histologischen Bild sahen. In Richtung der meisten kollagenen Fasern ist selbstverständlich die Zugfestigkeit am höchsten, da hier die meisten Fasern aktiv an der Dehnung teilnehmen. Gleichzeitig muß in dieser Richtung die Elastizitätsgröße gering sein, da die durch die Dehnung bedingte Verformung des Fasernetzes in Richtung des Zuges nur klein sein kann. Denn diese Verformung führt zu einer Parallellagerung der kollagenen Fasern, die in der Vorzugsrichtung schon präformiert ist.

Aus den Experimenten ergab sich, daß besonders ausgeprägte Vorzugsrichtungen in den Beugeseiten der großen Gelenke (Ellenbeuge, Kniekehle, Leistenbeuge, Gesäß/Oberschenkel) und in der Rückenmitte vorhanden waren. Im einzelnen war die Zugfestigkeit senkrecht zur Körperlängsachse an den großen Gelenken höher als parallel zur Körperlängsachse und zwar im Mittel an der Ellen- um das 2,05 fache, in der Kniekehle um das 3,02 fache,

in der Leiste um das 6,53 fache, in der Gesäß/Oberschenkeifalte um das 2,18 fache. Die Elastizitätsgröße verhielt sich, wie schon geschildert, genau entgegengesetzt (sie war parallel zur Körperlängsachse größer) und zwar: an der Ellenbeuge um das 2,03 fache, in der Kniekehle um das 2,67 fache, in der Leiste um das 3,78 fache und in der Gesäß/Oberschenkeifalte um das 1,73 fache.

Es ist also die Haut in Richtung der Gelenkfalte fester und weniger dehnbar. Dies widerspricht der Erwartung. Deshalb wurden Versuche unternommen um festzustellen, in welcher Richtung sich die Haut bei Beugen des Gelenkes am meisten dehnt. Dazu wurden an den Gelenkbeugen Farbstriche verschiedener Richtung und bestimmter Länge angebracht und deren Verhalten beim Abbiegen des Gelenkes beobachtet. Es stellte sich heraus, daß die Striche parallel zur Gelenkbeuge beim Beugen länger werden, die quer dazu stehenden sich jedoch verkürzen.

Auch der Umfang des Gelenkes nimmt bei Beugung zu, was auf eine Dehnung der Haut in Richtung dieses Umfanges schließen läßt. Es wird also beim Beugen des Gelenkes die Haut in Richtung der Gelenkfalte gedehnt, wodurch sich die oben beschriebene Festigkeit in dieser Richtung erklären läßt. Auch die Textur des Coriums entspricht diesen Befunden, da hier nach Huk und Schmidt sowie eigenen Versuchen eine Vorzugsrichtung der kollagenen

Fasern in Richtung der Gelenkbeuge zu finden ist (vergleiche Abb. 4). Die Spaltlinien verlaufen ebenfalls in dieser Richtung.

In der Rückenmitte ergab sich in der Körperlängsachse eine große Zugfestigkeit und geringe Elastizitätsgröße (Zugfestigkeit in Körperlängsachse 2,66 mal größer als senkrecht dazu, entsprechend die Elastizitätsgröße senkrecht zur Körperlängsachse um das 2,38 fache größer als in Richtung der Körperlängsachse). Senkrecht dazu verlaufende und Geringes neben der Medianlinie des Körpers liegende Hautmeßstreifen zeigten geringere Werte der Festigkeit bei höherer Elastizitätsgröße. Als Erklärung hierfür kommt ein Ausstrahlen der Fasern des Ligamentum longitudinale posterius in die darüberliegende Haut in Frage.

Die Verhältnisse der Zugfestigkeiten und der Elastizitätsgrößen an den übrigen Körperstellen sind aus der Tabelle II zu entnehmen. Es sind hier keine wesentlichen Vorzugsrichtungen festzustellen. Entsprechend wurden auch im histologischen Bild keine ausgeprägten Vorzugsrichtungen gefunden.

Zusammenfassung. =====

Vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Richtungsabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften der menschlichen Leichenhaut.

Zunächst werden die Ergebnisse von Untersuchungen anderer Autoren beschrieben, die sich mit ähnlichen Themen beschäftigten.

Danach wird auf den anatomischen Aufbau der Haut eingegangen und die Struktur des kollagenen Fasernetzes dargestellt, das der Träger der mechanischen Eigenschaften der Haut ist. Die verwendete Meßapparatur und die Form der benutzten Hautmeßstreifen wird beschrieben und die Zugfestigkeit und die Elastizitätsgröße an Hand der experimentell erhaltenen Spannungs-Dehnungs-Diagramme definiert. Zu den Versuchen wurden verschiedene Körperstellen ausgewählt, bei denen eine besonders ausgeprägte Richtungsabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften auf Grund folgender drei Kriterien zu erwarten war: ausgeprägte Spaltbarkeitsrichtung, richtungsgebundene Anordnung der kollagenen Fasern im histologischen Bild und einseitige funktionelle Beanspruchung. Durch Vergleich zweier korrelierender Hautmeßstreifen auf beiden Seiten des Körpers in dieser Vorzugsrichtung und senkrecht dazu, ergab sich an Ellenbeuge, Kniekehle, Leiste, Gesäß/Oberschenkel eine deutliche Richtungsabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften. Es war die Zugfestigkeit in Vorzugsrichtung (also parallel zur Spaltlinienrichtung, bzw. in Richtung der physiologisch ausgeprägten Dehnung) größer als senkrecht zu dieser Richtung, während die Elastizitätsgröße, die ein Maß

für die Dehnungsfähigkeit des Gewebes darstellt, in Vorzugsrichtung kleiner ist.

Der experimentelle Befund stimmt mit der in den Coriumflachschnitten festzustellenden Vorzugsrichtung der kollagenen Fasern überein. Zum Vergleich wurden Hautmeßstreifen an Rücken und Bauch und anderen Stellen untersucht, wo auf Grund der Spaltlinien und der anderen Gründe keine Vorzugsrichtung zu erwarten war. Tatsächlich waren auch hier die mechanischen Eigenschaften weitgehend richtungsunabhängig. Die Meßergebnisse wurden in tabellarischer Form dargestellt.

Literaturverzeichnis

Beisenherz: zit. bei Friedrich und Mörike

Bennighoff, A. und K. Goerttler: Lehrbuch der Anatomie des Menschen, 3.Bd. Urban und Schwarzenberg-Verlag München 1967

Cox, H.T.: The Cleavage lines of the skin. Brit.Jour. Surgery 29, 234 (1941)

Dal Borgo, V. et G.di Guardo: Studio delle caratteristiche fisiche dalla cute. Riv.Med.leg. 3, 273 (1961)

Friedrich, H.C. und K.D. Mörike: Über die Dehnbarkeit und Verschieblichkeit der Haut des Gesichtes beim Menschen unter klinischen und experimentellen Aspekten. Arch.klin. exper.Dermatologie 215, 496 (1963)

Huk, W.: Zur Frage der Charakterisierung von Hautregionen an der Struktur des Coriums. Med.Diss.Erlangen-Nürnberg 1967

Jansen, L.H. und P.B. Rottier: Some mechanical properties of human abdominal skin masured on excised strips. Dermatologica 117, 65 (1958)

Jansen, L.H. und P.B. Rottier: Elasticity of human skin related to age. Dermatologica 115, 106 (1957)

Jansen, L.H. und P.B.Rottier: Einige mechanische Eigenschaften der menschlichen Haut, gemessen an excidierten Hautstücken unter Berücksichtigung des Lebensalters und des Vorhandenseins von Striae. Dermatologica 117, 2 (1958)

Küntzel, A.: Handbuch der Gerbereichemie und Lederfabrikation, Hrsg. W. Grassmann, 1.Bd., 1. Teil: Die Haut
Wien, Springer-Verlag 1944

Keller, Ph.: Mechanische Eigenschaften der Haut in:
Normale und pathologische Physiologie der Haut I,
Berlin, Göttingen, Heidelberg, Springer-Verlag 1962

Langer, A.K.: Zur Anatomie und Physiologie der Haut.
Akad. Wiss. Wien, 44, 133 (1862)

Lever: zit. nach Keller

Ma, C.K. and E.V. Cowdry: Aging of elastic tissue in
human skin. J.Gerontol. 5, 203 (1950)

Pernkopf, E.: Topographische Anatomie, Bd.1, Teil 1,
Berlin und Wien, Urban und Schwarzenberg-Verlag 1943

Petry: zit. nach Keller

Rollhäuser, H.: Die Zugfestigkeit der menschlichen
Haut. Gegenbaurs morph.Jb. 90, 249 (1951)

Rollhäuser, H.: Konstitutions- und Altersunterschiede
in der Festigkeit kollagener Fibrillen. Gegenbaurs
morph.Jb. 90, 257 (1951)

Schmidt, G. und W.Huk: Vortrag Freiburg 1966

Thielmann, B.: Med.Diss.Erlangen-Nürnberg 1965

Vezar, F.: Wege der physiologischen Altersforschung,
Schriftenreihe der Med.Pharmazeut.Studienges.e.V.Nr.1
Frankfurt: Umschau-Verlag 1962

Wenzel, H.G.: Untersuchungen über die Dehnbarkeit und
Zerreißbarkeit der Haut. Zbl.allg.Path.und path.Anato-
mie 85, 117 (1949)

Weinig, E. und P. Zink: Über mechanische Eigenschaften der menschlichen Haut. Dtsch.Z.ges.gerichtl.Med. 60, 61, (1967)

Zink, P.: Methoden zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften der menschlichen Leichenhaut. Dtsch.Z.ges.gerichtl.Med. 56, 349 (1965)

Herrn Prof. Dr. Dr. E. Weinig möchte ich für das Thema
und seine liebenswürdige Unterstützung und Förderung
den besten Dank aussprechen.

Herrn Dr. Dr. P. Zink danke ich herzlich für die jeder-
zeit gewährte Hilfe und Beratung.

Lebenslauf

Name: Monika Harpf, geb. Schnaß

geboren: 11.1.1939

in: Ingolstadt

Staatsangehörigkeit: deutsch

Name der Eltern: Dr. med. Werner Schnaß und Lore, geb. Mertiny

Schulbildung: 4 Jahre Volksschule in Ingolstadt

9 Jahre Humanistisches Gymnasium von 1949

bis 1958 in Ingolstadt

Studiengang: WS 1958/59 bis SS 1961 Universität Erlangen

WS 1961/62 Universität Hamburg

SS 1962 Universität Kiel

WS 1962/63 bis WS 1963/64 Universität Erlangen

Prüfungen: Vorphysikum SS 1959

Physikum WS 1960/61

Staatsexamen SS 1964

Zur Zeit arbeite ich als Assistentin in der Privatklinik

Dr. Maul in Ingolstadt. Meine Medizinalassistentenzeit

legte ich im Kreiskrankenhaus Schrobenhausen ab.

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hogl, 852 Erlangen, Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990
